

Martensitic stainless steels excellent in corrosion resistance and stress corrosion cracking resistance and method of heat treatment of the steels.

Patent Number: ☐ EP0386728
Publication date: 1990-09-12
Inventor(s): MIYASAKA AKIHIRO C O DAINI GIJ (JP); OGAWA HIROYUKI C O DAINI GIJUT (JP)
Applicant(s): NIPPON STEEL CORP (JP)
Requested Patent: ☐ JP2236257
Application Number: EP19900104347 19900307
Priority Number(s): JP19890053926 19890308
IPC Classification: C21D6/00; C22C38/38
EC Classification: C22C38/38
Equivalents: ☐ US5017246
Cited Documents: GB2027745; US4047941; GB1221584; GB883712; EP0273279

Abstract

A high-strength martensitic stainless steel excellent in corrosion resistance and stress corrosion cracking resistance, the composition of which comprises: under 0.03% carbon, 1% or less silicon, 2.3 - 7.0% manganese, 8 - 14% chromium, 0.005 - 0.2% aluminum, 0.005 - 0.15% nitrogen, and the balance of iron except incidental elements. The stainless steel can contain moreover up to 4% nickel, up to 2% molybdenum, up to 4% tungsten, up to 4.5% copper, up to 0.5% vanadium, up to 0.2% titanium, up to 0.5% niobium, up to 0.2% zirconium, up to 0.2% tantalum, up to 0.2% hafnium, up to 0.008% calcium and/or up to 0.02% rare earth elements. Heat treatment of the stainless steel comprises: the step of austenitizing at temperatures of 920 DEG C to 1,100 DEG C, the step of cooling at a cooling rate equal to or higher than the air cooling rate, the step of tempering at temperatures between 580 DEG C and Ac1 point, and the step of cooling at a cooling rate equal to or higher than the air cooling rate.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑬ 日本国特許庁(JP)

⑭ 特許出願公開

⑯ 公開特許公報(A)

平2-236257

⑮ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑰ 公開 平成2年(1990)9月19日

C 22 C 38/00
C 21 D 6/00
C 22 C 38/38
38/50

3 0 2 Z
J

7047-4K
7518-4K

審査請求 未請求 請求項の数 6 (全7頁)

⑱ 発明の名称 高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼およびその製造方法

⑲ 特 願 平1-53926

⑳ 出 願 平1(1989)3月8日

㉑ 発 明 者 宮 坂 明 博 神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社
第二技術研究所内

㉒ 発 明 者 小 川 洋 之 神奈川県相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社
第二技術研究所内

㉓ 出 願 人 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号

㉔ 復代理人 弁理士 田村 弘明

明 細 書

1. 発明の名称

高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼およびその製造方法

2. 特許請求の範囲

(1) 重量%で、

Cを0.03%未満に低減し、

Si 1%以下、

Mn 2.3 ~ 7.0%、

Cr 8 ~ 14%、

Al 0.005 ~ 0.2 %

N 0.005 ~ 0.15%、

を含有し、残部Feおよび不可避不純物からなることを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

(2) 不可避不純物のうち、重量%で、

Pを0.025%以下、

Sを0.015%以下、

に低減したことを特徴とする請求項1に記載の高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

(3) 付加成分として、重量%で、

Ni 4%以下、

Mo 2%以下、

W 4%以下、

Cu 4.5%以下、

のうち1種または2種以上を含有することを特徴とする請求項1または2に記載の高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

(4) 付加成分として、重量%で、

V 0.5%以下、

Ti 0.2%以下、

Nb 0.5%以下、

Ta 0.2%以下、

Zr 0.2%以下、

Hf 0.2%以下、

のうち1種または2種以上を含有することを特徴

とする請求項1または2または3に記載の高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

(5) 付加成分として、重量%で、

Ca 0.008 %以下、

希土類元素0.02%以下、

のうち1種または2種を含有することを特徴とする請求項1または2または3または4に記載の高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼。

(8) 請求項1または2または3または4または5に記載のマルテンサイト系ステンレス鋼を、920℃～1100℃でオーステナイト化した後、空冷以上の冷却速度で冷却し、次いで580℃以上Ac₁温度以下の温度で焼戻し処理を施した後、空冷以上の冷却速度で冷却することを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法。

大なものとなり、適用できない場合が多い。従って、腐食抑制剤を添加する必要のない耐食材料に対するニーズが最近とみに高まっている。

炭酸ガスを多く含む石油・天然ガス用の耐食材料としては、耐食性の良好なステンレス鋼の適用がまず検討され、例えばL. J. クライン、コロージョン '84、ペーパーナンバー211にあるように、高強度で比較的成本の安い鋼としてAISI 410あるいは420といった、12～18%のCrを含有するマルテンサイト系ステンレス鋼が広く使用され始めている。しかしながら、これらの鋼は湿潤炭酸ガス環境ではあっても高温、たとえば130℃以上での環境やCl⁻イオン濃度の高い環境では耐食性が充分ではなく、腐食速度が大きいという難点を有する。さらにこれらの鋼は、石油・天然ガス中に硫化水素が含まれている場合には著しく耐食性が劣化し、全面腐食や局部腐食、さらには応力腐食割れ（この場合には硫化物応力割れ、以下SSCと称する）を生ずるという難点を有している。このため上記のマルテンサイ

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼に係り、さらに詳しくは例えば石油・天然ガスの掘削、輸送および貯蔵において湿潤炭酸ガスや湿潤硫化水素を含む環境中で使用しても高い腐食抵抗および割れ抵抗を有すると共に強度の高い鋼とその製造方法に関する。

(従来の技術)

近年生産される石油・天然ガス中には、湿潤な炭酸ガスを多く含有する場合が増加している。こうした環境中における炭素鋼や低合金鋼は著しく腐食することがよく知られている。このため、掘削に使用される油井鋼管や、輸送に使用される鋼製ラインパイプなどの防食対策として、腐食抑制剤の添加が従来より行なわれてきた。しかし、腐食抑制剤は高温ではその効果が失われる場合が多いことに加えて、海洋油井や海底パイプラインでは腐食抑制剤の添加・回収処理に要する費用は膨

大となり、適用できない場合が多い。従って、腐食抑制剤を添加する必要のない耐食材料に対するニーズが最近とみに高まっている。

これに対し、硫化水素による割れに対する抵抗を増したマルテンサイト系ステンレス鋼として、例えば特開昭60-174859号公報、特開昭62-54063号公報にみられる鋼が提案されている。しかし、これらの鋼も硫化水素による割れを完全に防止した訳ではなく、また高価な合金元素であるニッケルを多量に使用するためコストが高いという難点を有している。

(発明が解決しようとする課題)

本発明はこうした現状に鑑み、高温や高Cl⁻濃度の炭酸ガス環境でも充分な耐食性を有し、硫化水素を含む場合においてもSSCに対して高い割れ抵抗を有する安価なマルテンサイト系ステンレス鋼を提供することを目的としている。

(課題を解決するための手段)

本発明者らは、上記の目的を達成すべくマルテンサイト系ステンレス鋼の成分を種々検討して

きた結果、ついに以下の知見を見出すに至った。

まず、Cr を 8~14% 含有する鋼中の C 量を低減すると湿潤炭酸ガス環境中における腐食速度が著しく小さくなることを見出した。そしてこの C の低減効果は、含有量を 0.03% 未満とすると顕著であり、湿潤炭酸ガス環境中に 180℃ 以上まで実用的に使用できるようになることを見出した。一方、C を 0.03% 未満に低減した鋼に Mn を 2.3% 以上添加した場合には、C 量を 0.03% 未満に低減しても高温で完全にオーステナイト化させることができ、かつ焼入れ焼戻し処理した後に高強度が得られることも見出した。Mn は Ni に比べるとはるかに安価な元素であるので、2.3% 以上を添加しても材料コストの上昇は少ないのである。一方、C を 0.03% 未満に低減させ Mn を 2.3% 以上添加した鋼に N を 0.005% 以上含有させると一段と高強度が得られ、かつ耐食性も改善されることがわかった。このときかかる成分を有する鋼は硫化水素を含む環境においても SSC に対して高い割れ抵抗を有するという全く新しい知見も得られ

た。

さらに本発明者らは検討をすすめ、C を 0.03% 未満に低減し、Mn を 2.3% 以上添加し、N を 0.005% 以上添加した鋼中の P を 0.025% 以下に低減し S を 0.015% 以下に低減すると硫化水素を含む環境における割れ抵抗が一段と改善されることを明らかにした。一方、これらの鋼に Ni, Mo, W, Cu を添加すれば高温あるいは高 Cl⁻ イオン濃度の湿潤炭酸ガス環境での腐食速度を一段と減少できることも見出した。

本発明は上記の知見に基づいてなされたものであり、

第 1 発明の要旨とするところは、重量% で C を 0.03% 未満に低減し、S 1% 以下、Mn 2.3~7.0%、Cr 8~14%、Al 0.005~0.2%、N 0.005~0.15% を含有し、残部 Fe および不可避不純物からなることを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼にあり、

第 2 発明の要旨とするところは、第 1 発明の鋼

において不可避不純物のうち、重量% で、P を 0.025% 以下、S を 0.015% 以下に低減したことを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼にあり、

第 3 発明の要旨とするところは、第 1 発明および第 2 発明の各鋼において、重量% で、Ni 4% 以下、Mo 2% 以下、W 4% 以下、Cu 4.5% 以下のうち 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼にあり、

第 4 発明の要旨とするところは、第 1 発明、第 2 発明および第 3 発明の各鋼において、重量% で V 0.5% 以下、Ti 0.2% 以下、Nb 0.5% 以下、Ta 0.2% 以下、Zr 0.2% 以下、Hf 0.2% 以下、のうち 1 種または 2 種以上を含有することを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼にあり、

第 5 発明の要旨とするところは、第 1 発明、第 2 発明、第 3 発明および第 4 発明の各鋼において、重量% で、Ca 0.008% 以下、希土類元素 0.02%

以下、のうち 1 種または 2 種を含有することを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼にあり、

第 6 発明の要旨とするところは、第 1 発明、第 2 発明、第 3 発明、第 4 発明および第 5 発明の各鋼を、920℃~1180℃ でオーステナイト化した後、空冷以上の冷却速度で冷却し、次いで 580℃ 以上 A_{c1} 温度以下の温度で焼戻し処理を施した後、空冷以上の冷却速度で冷却することを特徴とする高強度かつ耐食性、耐応力腐食割れ性の優れたマルテンサイト系ステンレス鋼の製造方法にある。

(作 用)

以下に本発明で成分および熱処理条件を限定した理由を述べる。

C : C は多量に存在すると湿潤炭酸ガス環境における耐食性を低下させ、硫化水素の存在する環境における SSC 抵抗を減少させる。従って、C を低減するとこれらの特性の改善に効果があるが、C 量を 0.03% 未満とすれば特にその効果が著しく、0.03% 以上存在する場合には耐食性を低下させる

ことから、C量は0.03%未満に限定する。Si: 脱酸のために必要な元素であるが、1%を超えて添加すると耐食性を著しく低下させることから、上限含有量は1%とすべきである。

Mn: C量を0.02%未満とした鋼の強度確保および脱酸のために極めて有効な元素であって、実用的な強度を確保するために2.3%以上の添加が必要であるが、7.0%を超えて添加してもその効果は飽和するので、上限含有量は7.0%とする。

Cr: Crはマルテンサイト系ステンレス鋼を構成するもっとも基本的かつ必須の元素であって耐食性を付与するために必要な元素であるが、含有量が8%未満では耐食性が充分ではなく、一方14%を超えて添加すると他の合金元素をいかに調整しても高温に加熱したときにオーステナイト単相になり難く強度確保が困難になるので上限含有量は14%とすべきである。

Al: 脱酸のために必要な元素であって含有量が0.005%未満ではその効果が充分ではなく、0.2%を超えて添加すると粗大な酸化物系介在物

が鋼中に残留して酸化水素中での割れ抵抗を低下させるので、含有量範囲は0.005~0.2%とした。N: NはCと同様にマルテンサイト系ステンレス鋼の強度を上昇させる元素として有効であるが、0.005%未満ではその効果が充分ではなく、0.15%を超えるとCr窒化物を生成して耐食性を低下させ、また、割れ抵抗をも低下させるので、含有量範囲は0.005~0.15%とした。

以上が本発明における基本的成分であるが、本発明においては必要に応じてさらに以下の元素を添加して特性を一段と向上させることができる。

P: PはSSC感受性を増加させる元素であるので少ないほうが好ましいがあまり少ないレベルにまで低減させることはいたずらにコストを上昇させるのみで特性の改善効果は飽和するものであるから、本発明の目的とする耐食性、耐応力応力割れ性を確保するのに必要充分な程度に少ない含有量とすること、すなわち0.025%以下に低減すると耐応力腐食割れ性が一段と改善される。

S: SはPと同様にSSC感受性を増加させる

元素であるので少ないほうが好ましいがあまりに少ないレベルにまで低減させることはいたずらにコストを上昇させるのみで特性の改善効果は飽和するものであるから、本発明の目的とする耐食性、耐応力腐食割れ性を確保するのに必要充分なほど少ない含有量とし、0.015%以下に低減すると耐応力腐食割れ性が一段と改善される。

NI: NIはC量を低減した鋼の湿潤炭酸ガス環境の耐食性をさらに改善するのに効果があるが、4%を超えて添加してもその効果は飽和するばかりか、逆に硫化水素含有環境におけるSSC抵抗を低下させるようになるので上限含有量は4%とする。

Mo: MoはC量を低減した鋼の湿潤炭酸ガス環境の耐食性を改善するのに効果があるが、2%を超えて添加してもその効果は飽和するばかりか、韌性など他の特性を低下させるようになるので上限含有量は2%とする。

W: WもC量を低減した鋼の湿潤炭酸ガス環境の耐食性を改善するのに効果があるが、4%を超

えて添加してもその効果は飽和するばかりか、韌性など他の特性を低下させるようになるので上限含有量は4%とする。

Cu: CuもC量を低減した鋼の湿潤炭酸ガス環境の耐食性をさらに改善するのに効果があるが、4.5%を超えて添加してもその効果は飽和するばかりか、逆に熱間加工性を低下させるようになるので上限含有量は4.5%とする。

V, Ti, Nb, Ta, Zr, Hf: V, Ti, Nb, Ta, Zr, Hfは耐食性を一段と向上させるのに有効な元素であるが、Ti, Zr, Ta, Hfでは0.2%、Nb, Vでは0.5%をそれぞれ超えて添加すると粗大な析出物・介在物を生成して硫化水素含有環境におけるSSC抵抗を低下させるようになるので上限含有量はTi, Zr, Ta, Hfでは0.2%、Nb, Vでは0.5%とした。

Ca, 希土類元素: Caおよび希土類元素は熱間加工性の向上、耐食性の向上に効果のある元素であるが、Caでは0.008%を超えて、希土類元

素では0.02%を超えて添加すると、それぞれ粗大な非金属介在物を生成して逆に熱間加工性および耐食性を劣化させるので、上限含有量はCaでは0.008%、希土類元素では0.02%とした。

上記の成分を有するステンレス鋼を熱処理してマルテンサイト組織とし所定の強度を付与するに際し、オーステナイト化温度を920~1100℃としたのは、920℃より低い温度ではオーステナイト化が充分ではなく従って必要な強度を得ることが困難だからであり、オーステナイト化温度が1100℃を超えると結品粒が著しく粗大化して硫化水素含有環境におけるSSC抵抗が低下するようになるので、オーステナイト化温度は920~1100℃とした。

オーステナイト化後の冷却における冷却速度を空冷以上の冷却速度としたのは、空冷よりも遅い冷却速度ではマルテンサイトが充分生成せず、所定の強度を確保することが困難になるからである。

焼戻し温度を580℃以上A_{c1}温度以下としたのは、焼戻し温度が580℃未満では十分な焼戻し

が行われず、焼戻し温度がA_{c1}温度を超えると一部がオーステナイト化しその後の冷却時にフレッシュ・マルテンサイトを生成し、いずれも充分に焼戻しされていないマルテンサイトが残留するために硫化水素含有環境におけるSSC感受性を増加させるためである。

焼戻し後の冷却における冷却速度を空冷以上の冷却速度としたのは、空冷よりも遅い冷却速度では靱性が低下するためである。

(実施例)

以下に本発明の実施例について説明する。

第1表に示す成分のステンレス鋼を溶製し、熱間圧延によって厚さ12.7mmの鋼板とした後、第1表に併せて示す条件で焼入れ焼戻し処理を施していずれも0.2%オフセット耐力が56kg/mm以上の高強度ステンレス鋼とした。次にこれらの鋼材から試験片を採取して湿潤炭酸ガス環境における腐食試験、および硫化水素含有環境におけるSSC試験を行なった。湿潤炭酸ガス環境における腐食試験としては、厚さ3mm、幅15mm、長さ50mmの試

験片を用い、試験温度180℃のオートクレーブ中で炭酸ガス分圧40気圧の条件で3%NaCl水溶液中に30日間浸漬して、試験前後の重量変化から腐食速度を算出した。腐食速度の単位はmm/yで表示したが、一般的にある環境におけるある材料の腐食速度が0.1mm/y以下の場合、材料は充分耐食的であり使用可能であると考えられている。硫化水素含有環境におけるSSC試験としては、NACE(米国腐食技術者協会)の定めている標準試験法であるNACE規格TM0177に従って試験した。即ち、1気圧の硫化水素を飽和させた5%NaCl+0.5%酢酸水溶液中にセットした試験片に一定の単軸引張応力を負荷し、720時間以内に破断するか否か、を調べた。試験応力は各鋼材の0.2%オフセット耐力の60%の値とした。

試験結果を第1表に併せて示した。第1表のうち、腐食試験結果において◎は腐食速度が0.05mm/y未満、○は腐食速度が0.05mm/y以上0.10mm/y未満、×は腐食速度が0.10mm/y以上0.5mm/y未満、××は腐食速度が0.5mm/y以上、

であったことをそれぞれ表わしており、SSC試験結果において◎は破断しなかったもの、×は破断したものをそれぞれ表わしている。なお、第1表において比較鋼の№29はAISI 420鋼であり、№30は9Cr-1Mo鋼であって、いずれも従来から湿潤炭酸ガス環境で使用されている従来鋼である。

第1表から明らかなように本発明鋼である鋼№1~28は、湿潤炭酸ガス環境において180℃という従来のマルテンサイト系ステンレス鋼では考えられないような高温であっても、実用的に使用可能な腐食速度である0.1mm/yよりも腐食速度が小さく、かつ硫化水素含有環境におけるSSC試験においても破断していないことから、優れた耐食性と耐応力腐食割れ性を有していることがわかる。これに対して比較鋼である鋼№29~34は湿潤炭酸ガス環境において180℃でも腐食速度が0.1mm/yを大きく上回っており、かつ硫化水素含有環境におけるSSC試験において破断している。

表 1

No.	成 分 (%)													熱 処 理		腐食試験結果 ^{※1} 試験温度 160℃	SEC試験 結果	
	C	Si	Mn	Cr	Al	N	P	S	Ni	Mo	W	Cu	そ の 他	オーステナイト 化温度 および冷却	焼き戻し温度 および冷却			
本 例	1	0.009	0.35	2.75	12.35	0.018	0.037	N.A.	N.A.	-	-	-	-	1020℃, 空冷	810℃, 空冷	○	○	
	2	0.014	0.34	4.10	12.24	0.032	0.039	N.A.	N.A.	-	-	-	-	1020℃, 空冷	810℃, 空冷	○	○	
	3	0.005	0.35	6.70	13.43	0.028	0.056	N.A.	N.A.	-	-	-	-	1020℃, 水冷	650℃, 空冷	○	○	
	4	0.016	0.38	3.72	11.95	0.027	0.046	0.010	0.003	-	-	-	-	1000℃, 空冷	710℃, 空冷	○	○	
	5	0.001	0.10	3.44	12.44	0.029	0.045	0.012	N.A.	-	-	-	-	1020℃, 空冷	710℃, 空冷	○	○	
	6	0.011	0.24	2.80	12.57	0.028	0.052	0.018	0.003	-	-	-	-	1020℃, 空冷	710℃, 空冷	○	○	
	7	0.011	0.25	3.10	12.50	0.018	0.055	0.005	0.002	2.20	-	-	-	1020℃, 空冷	610℃, 空冷	○	○	
	8	0.012	0.20	3.10	12.18	0.016	0.048	N.A.	N.A.	-	1.73	-	-	1020℃, 空冷	710℃, 空冷	○	○	
	9	0.011	0.24	4.44	9.84	0.019	0.040	0.010	0.001	1.75	-	0.18	-	1020℃, 空冷	650℃, 空冷	○	○	
	10	0.013	0.25	4.55	12.52	0.020	0.041	0.022	0.004	-	-	-	2.14	1020℃, 空冷	825℃, 空冷	○	○	
比 例	11	0.005	0.30	4.30	12.50	0.032	0.070	0.016	0.005	1.63	-	-	2.00	1000℃, 空冷	700℃, 空冷	○	○	
	12	0.004	0.32	4.00	12.54	0.029	0.094	0.012	0.003	-	-	-	1 0.058	1000℃, 油冷	720℃, 空冷	○	○	
	13	0.004	0.34	4.10	12.53	0.029	0.092	0.011	0.003	-	-	-	Ti0.031	1000℃, 空冷	750℃, 空冷	○	○	
	14	0.005	0.28	4.20	12.18	0.018	0.068	0.017	0.002	-	-	-	Nb0.045	1000℃, 空冷	700℃, 空冷	○	○	
	15	0.006	0.26	4.33	12.12	0.019	0.040	0.017	0.005	-	-	-	Ti0.027, Ta0.018	1020℃, 油冷	700℃, 空冷	○	○	
	16	0.005	0.35	4.84	12.17	0.018	0.056	0.016	0.004	-	-	-	1 0.032, Nb0.055, Zr0.018	1020℃, 空冷	700℃, 空冷	○	○	
	17	0.014	0.44	2.75	11.85	0.029	0.063	0.017	0.004	-	-	-	Ti0.025, Nb0.023, Hf0.022	980℃, 空冷	720℃, 空冷	○	○	
	18	0.015	0.40	3.60	12.24	0.020	0.016	0.005	0.001	-	-	-	Ca0.006	980℃, 空冷	720℃, 空冷	○	○	
	19	0.015	0.40	3.47	12.26	0.020	0.047	0.017	0.004	-	-	-	REM0.008	980℃, 空冷	880℃, 空冷	○	○	
	20	0.016	0.41	3.64	12.23	0.023	0.043	0.010	0.003	-	-	-	Ca0.003, REM0.005	980℃, 空冷	880℃, 空冷	○	○	
比 例	21	0.014	0.42	3.55	12.15	0.020	0.046	N.A.	N.A.	1.77	0.14	-	-	1 0.044, Zr0.025	1020℃, 空冷	610℃, 空冷	○	○
	22	0.014	0.28	3.89	12.19	0.030	0.040	0.018	0.002	-	0.88	0.14	2.31	Ti0.032	1020℃, 油冷	710℃, 空冷	○	○

※1 固液試験条件: 3%NaOH水溶液、CO₂分圧40気圧、720時間

N.A.: 分析せず

表 1 (続 表)

	No.	成 分 (%)													熱 処 理		固液試験時 ^{※1} 試 験 温 度 160℃	SEC試験 結 果
		C	Si	Mn	Cr	Al	N	P	S	Ni	Mo	W	Cu	そ の 他	オーステナイ ト 化 温 度 および冷却	焼き戻し温度 および冷却		
本 例 例	23	0.010	0.27	5.62	12.29	0.018	0.026	0.021	0.002	1.04	—	—	—	Nb0.028, Zr 0.010, Ca0.003	1010℃, 空冷	890℃, 空冷	○	○
	24	0.010	0.23	8.25	12.18	0.017	0.053	0.018	0.003	1.12	—	0.25	—	Nb0.018, Hf0.028	1010℃, 空冷	700℃, 空冷	○	○
	25	0.009	0.06	8.01	13.13	0.018	0.058	0.017	0.003	—	1.28	—	1.23	V 0.018, Ti0.07, Ca0.003	1050℃, 空冷	720℃, 空冷	○	○
	26	0.010	0.35	5.04	12.13	0.019	0.058	N.A.	N.A.	—	—	0.68	2.01	V 0.022, Zr0.011, Ca0.005	1050℃, 空冷	700℃, 空冷	○	○
	27	0.011	0.36	3.17	12.23	0.018	0.059	0.012	0.002	2.35	1.03	0.14	1.18	V 0.018, Ti0.018, Nb0.028, Ca0.004	1050℃, 空冷	810℃, 空冷	○	○
比 例	28	0.011	0.25	3.21	12.43	0.014	0.038	0.018	0.007	—	—	—	—	Ti0.020, Nb0.023, Ca0.008	1050℃, 空冷	750℃, 空冷	○	○
	29	0.210	0.45	0.51	13.02	0.051	0.004	0.027	0.008	0.35	—	—	—	—	1020℃, 空冷	730℃, 空冷	×	×
	30	0.122	0.28	0.58	9.12	0.027	0.008	0.025	0.008	—	1.05	—	—	—	980℃, 空冷	700℃, 空冷	×	×
	31	0.182	0.28	3.44	12.23	0.020	0.006	0.018	0.006	0.40	—	—	—	—	1020℃, 空冷	700℃, 空冷	×	×
	32	0.108	0.32	3.54	10.84	0.017	0.008	0.030	0.012	—	0.84	—	—	—	880℃, 空冷	810℃, 空冷	×	×
	33	0.034	0.29	1.53	12.43	0.020	0.003	0.023	0.010	—	—	—	—	Ti0.059	1020℃, 空冷	400℃, 空冷	×	×
	34	0.077	0.19	3.18	12.67	0.023	0.007	0.010	0.007	—	—	—	—	—	1000℃, 空冷	700℃, 空冷	×	×
	35	0.077	0.19	3.18	12.67	0.023	0.007	0.010	0.007	—	—	—	—	—	1000℃, 空冷	700℃, 空冷	×	×

※1 固液試験条件: 3%NaOH水溶液、CO₂分圧40気圧、720時間

N.A.: 分析せず

(発明の効果)

以上述べたように、本発明は湿潤炭酸ガス環境における優れた耐食性と湿潤硫化水素による割れに対して高い割れ抵抗を有する鋼およびその製造方法を提供することを可能としたものであり、産業の発展に貢献するところ極めて大である。

復代理人 弁理士 田 村 弘 明